



# Auto-organisation d'une carte de neurones BCM sous contrainte multimodale

Mathieu Lefort, Yann Boniface, Bernard Girau

## ► To cite this version:

Mathieu Lefort, Yann Boniface, Bernard Girau. Auto-organisation d'une carte de neurones BCM sous contrainte multimodale. 5ème Conférence française de Neurosciences Computationnelles - Neurocomp 2010, Oct 2010, Lyon, France. inria-00512658

**HAL Id: inria-00512658**

**<https://inria.hal.science/inria-00512658>**

Submitted on 31 Aug 2010

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# AUTO-ORGANISATION D'UNE CARTE DE NEURONES BCM SOUS CONTRAINTE MULTIMODALE

Mathieu Lefort, Yann Boniface, Bernard Girau

Loria

Campus Scientifique - BP 239 - 54506 Vandoeuvre-lès-Nancy Cedex

{mathieu.lefort, yann.boniface, bernard.girau}@loria.fr

## RÉSUMÉ

Un objet est défini par un ensemble cohérent de perceptions que le cerveau reçoit par des capteurs séparés. Ces différents flux perceptifs sont traités par des aires sensorielles auto-organisées, à savoir que deux neurones proches sont sensibles à des stimuli proches. Cependant, en convergeant dans des aires dites associatives, ces différentes perceptions interagissent afin de créer une représentation cohérente du monde. L'effet créé par le ventriloque, à savoir une perception auditive modifiée par la vue, illustre ces interactions entre perceptions.

Dans nos travaux précédents [7], nous avons proposé un modèle de cartes perceptives, utilisant une règle de plasticité BCM (Bienenstock Cooper Munro), capable de s'auto-organiser. Nous avons également obtenu des résultats préliminaires [8] montrant que cette auto-organisation pouvait être influencée par une contrainte multimodale créée par un mécanisme d'association de modalités. Nous regardons ici plus précisément comment cette auto-organisation peut être modifiée par un contexte multimodal, soit directement, soit par une influence latérale dans le cadre d'une architecture d'association de modalités.

## MOTS CLÉS

auto-organisation, BCM, multimodalité, rétroaction, réseaux neuronaux

## 1 Introduction

Le cortex est divisé en aires corticales structurellement identiques. Certaines aires sont dites perceptives car elles traitent des données sensorielles provenant de capteurs internes ou externes. Ces aires sont spécialisées dans une perception (par exemple V1 ou V2 pour la vision). Cependant, dans le cas d'un handicap sensoriel, elles sont capables de traiter un autre flux perceptif.

Par ailleurs, ces aires ont la propriété d'être spatialement auto-organisées, à savoir, que deux neurones proches sont sensibles à deux stimuli proches. Cette topologie permet au cortex de réduire la longueur des connectivités et donc d'augmenter la vitesse de traitement. Elle permet également une généralisation permettant de traiter des stimuli inconnus en interpolant à partir de ceux proches, qui ont été appris.

J. J. Gibson a défini la notion d'affordance [5] qui correspond aux interactions que peut effectuer un individu sur un objet. Par exemple, "se coucher sous" est, pour un être humain, une affordance d'un arbre. La notion d'objet est perçue comme une combinaison des différentes sensations et affordances. Ces flux modaux, traités par des aires spécifiques, convergent dans des aires dites associatives ou multimodales.

L'effet Mac Gurk est une illustration des interactions qui existent entre différentes modalités. Si l'on fait entendre le son [ba] à un individu tout en lui montrant un mouvement de lèvres correspondant à [ga], celui-ci percevra le son [da] qui est un mélange des deux autres sons. Cette expérience montre que les différentes perceptions sont associées au sein d'une représentation multimodale et continue du monde. Traiter les perceptions comme un ensemble cohérent permet d'améliorer notre perception en réduisant le bruit et en augmentant la quantité d'information disponible.

Nous cherchons à développer un modèle informatique, inspiré des propriétés corticales simplifiées, consistant en une architecture multicarte et multimodale autonome, permettant la réalisation de tâches de type perception/action. Ceci pose la question de l'association de modalités ainsi que de l'apprentissage décentralisé d'une auto-organisation permettant une généralisation au niveau multimodal.

Dans ce cadre, nous avons proposé un modèle de carte perceptive utilisant la règle de plasticité synaptique BCM modulée par un signal de retour [7]. Dans un premier temps nous décrirons notre modèle de carte puis la règle de plasticité BCM que nous utilisons ainsi que les modifications effectuées. Nous reviendrons ensuite sur les résultats obtenus, à savoir l'auto-organisation de notre carte perceptive isolée. Nous étudierons enfin l'influence d'un contexte multimodal, représentant l'état du monde perçu, descendant ou latéral sur cette auto-organisation et conclurons sur les suites à donner à notre travail.

## 2 Modèle d'association de modalités

### 2.1 Principe général

Dans le cadre de la conception d'une architecture multicarte et multimodale autonome, permettant la réalisation de tâches de type perception/action, nous avons étudié Bijama [9], un modèle d'association de modalités. Ce modèle présente un mécanisme de rappel mais également de généralisation multimodale basés sur

un apprentissage latéral entre les différentes modalités et, simultanément, sur une auto-organisation contrainte par rétroaction du contexte multimodal, représentant l'état du monde perçu une fois toutes les contraintes multimodales relaxées.

Pour ce faire, Bijama propose un paradigme de cartes multiniveaux et de connexions, à savoir que des cartes perceptives sont reliées réciproquement à une unique carte associative. Cette dernière permet de créer un contexte multimodal en intégrant les différents flux perceptifs résultant des contraintes locales et globales. Son activité influe sur l'activité des cartes perceptives et contraint leurs auto-organisations afin d'obtenir une perception multimodale cohérente.

## 2.2 Carte perceptive

Une carte perceptive est composée de neurones inspirés des colonnes corticales, chacune comportant quatre niveaux (voir figure 1). L'activité de sortie de la colonne, qui est celle de son niveau supérieur, est la seule visible par les autres cartes corticales.

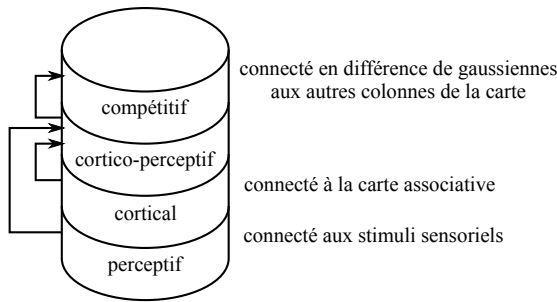


FIG. 1 – Représentation d'une colonne d'une carte perceptive.

Le premier niveau, dit perceptif, reçoit une entrée sensorielle et applique une règle de plasticité synaptique BCM (voir section 3) sur les poids entrants. Ce niveau devient sélectif à une entrée dont le choix sera influencé par l'activité de sortie de la carte qui module l'apprentissage.

Le niveau suivant sert à intégrer l'activité corticale latérale provenant de la carte associative. L'activité de cet étage sert à influencer l'activité de la colonne en fonction du contexte multimodal. Les poids latéraux utilisent un apprentissage de type Widrow Hoff [10] qui fait converger l'activité de cet étage sur celui de la colonne.

Le niveau cortico-perceptif intègre les influences perceptives locales et les influences multimodales distantes. Son comportement correspond aux états décrits par Burnod [4], à savoir que l'activité corticale sert à sensibiliser la colonne qui produira alors une réponse plus forte, et seule l'activité perceptive peut activer la colonne. Il en résulte que l'activité de la colonne est principalement perceptive, le contexte multimodal ayant un rôle de modulation.

L'étage compétitif prend en entrée le niveau cortico-perceptif et est relié aux autres étages compétitifs des

colonnes de la carte perceptive par une connectivité en différence de gaussiennes. En utilisant l'équation de la CNFT (Continuous Neural Field Theory) [1], cet étage fait émerger au niveau de la carte une bulle d'activité spatialement cohérente représentant la sensation perçue, fruit de l'interaction entre la perception monomodale et le contexte multimodal. Cet étage agit en rétroaction sur la règle BCM utilisée au niveau perceptif afin d'obtenir une auto-organisation de la carte (voir section 4).

## 3 Règle BCM

### 3.1 Principe

Dans un apprentissage de type hebbien, les poids synaptiques entre deux neurones sont modifiés suivant la corrélation de leur activité respective, à savoir que si le produit des activités est positif, les poids sont augmentés. L'introduction d'un seuil sur la réponse post-synaptique permet l'apparition de LTD (Long-Term Depression) en plus de la LTP (Long-Term Potentiation). La règle de plasticité synaptique BCM (Bienenstock Cooper Munro) [3] se base sur la constatation biologique que ce seuil entre LTP et LTD est flottant et dépend de l'historique de l'activité du neurone, à savoir que si le neurone post synaptique vient d'être excité le seuil augmente et inversement (voir figure 2).

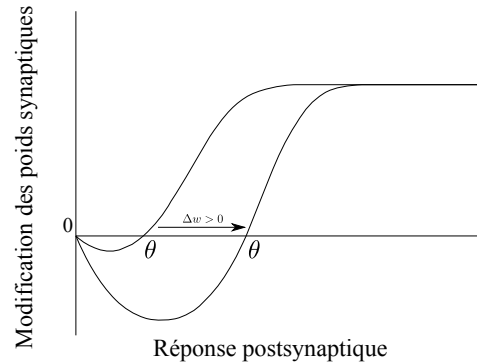


FIG. 2 – Le seuil  $\theta$  entre LTP et LTD est flottant et dépend de l'activité antérieure du neurone (adapté de Bear [2])

### 3.2 Equations

Le potentiel  $u$  d'un neurone est égal à la somme pondérée de ses entrées  $x$  :

$$u = w \cdot x$$

Le seuil flottant  $\theta$  est égal à l'espérance de  $u^2$  intégrée sur une fenêtre temporelle  $\tau$  :

$$\theta = E_{\tau}[u^2]$$

La modification des poids synaptiques est définie par l'équation suivante :

$$\Delta w = \eta x \phi(u, \theta) \quad (1)$$

avec  $\eta$  le taux d'apprentissage et  $\phi(u, \theta) = u(u - \theta)$  une approximation de la courbe de modification des poids synaptiques constatée biologiquement (figure 2). Ce seuil flottant  $\theta$  permet d'obtenir une sélectivité du neurone à un stimulus et une régulation de ses poids synaptiques.

### 3.3 Propriétés

Un neurone utilisant la règle de plasticité synaptique BCM a la propriété de devenir sélectif à un des stimuli d'entrée, à savoir qu'il va répondre fortement à ce stimulus et faiblement aux autres. De plus, si le stimulus discriminé disparaît de l'environnement, le neurone change alors de sélectivité.

L'utilisation de la règle BCM comme étage perceptif d'une carte est intéressante car elle permet d'obtenir une sélectivité aux entrées sensorielles ainsi qu'une plasticité en cas, par exemple, de lésion. Cependant, la propriété d'auto-organisation inhérente aux aires sensorielles n'est pas présente dans BCM. Notre modification de la règle par l'ajout d'une modulation multiplicative par un signal de retour permet de l'obtenir (voir sous section 4.1).

### 3.4 Modulation par signal de retour

En s'inspirant des travaux de Girod et Alexandre [6], nous avons modifié la règle BCM en modulant la sortie du neurone  $u$  par un terme multiplicatif dépendant d'un signal de retour :

$$u = w.x * m(s)$$

avec  $s$  le signal de retour et  $m$  une fonction (sigmoïde ou linéaire) produisant une réponse significativement différente entre la présence et l'absence du signal de retour.

Cette modulation permet d'influer sur le stimulus discriminé par la cellule. En effet, en envoyant une forte rétroaction, on favorise le passage de  $u$  au-dessus du seuil  $\theta$  dans l'équation (1), ce qui entraîne l'apprentissage du stimulus courant, et inversement.

## 4 Auto-organisation

### 4.1 Auto-organisation monomodale

Nous avons testé notre modèle de carte perceptive isolée, c'est-à-dire en supprimant les étages cortical et intégratif [7]. La cohérence spatiale créée par l'étage compétitif, grâce au mécanisme de retour en modulation sur la règle BCM, est transférée à l'étage perceptif qui, alors, s'auto-organise. La carte perceptive a donc la propriété de s'auto-organiser dans un contexte purement monomodal.

### 4.2 Auto-organisation multimodale

Le mécanisme d'association de modalités cherche à influencer l'activité monomodale ainsi que son auto-organisation par les informations contenues dans le contexte multimodal. Deux stimuli éloignés dans une perception peuvent, en effet, être proches au niveau multimodal. Une auto-organisation contrainte par le

contexte global permet ainsi de garantir une continuité à un haut niveau et fournit un mécanisme de généralisation permettant de traiter des stimuli inconnus.

La contrainte globale permet également de s'assurer que les auto-organisations dans les différentes cartes sont cohérentes. Par exemple, dans l'effet Mac Gurk, on peut supposer que les auto-organisations visuelles et auditives des phonèmes se superposent afin d'obtenir une perception cohérente.

On peut également supposer que, lors d'une lésion sensorielle, le contexte multimodal joue un rôle dans la réorganisation des aires corticales. En effet, les neurones dans des aires sensorielles différentes étant plus faiblement connectés que les neurones intra-aires, les aires associatives permettent d'assurer une connectivité et donc une cohérence globale.

L'objet de notre étude est de tester le comportement de notre modèle de carte perceptive sous l'influence d'un contexte multimodal fixé que l'on imposera d'abord directement comme rétroaction sur l'étage perceptif puis sous forme d'une influence latérale pouvant provenir d'une aire associative.

## 5 Expérimentations et résultats

### 5.1 Influence descendante du contexte

Nous utilisons des bulles d'activités correspondant à une auto-organisation fixée, afin de représenter des contraintes multimodales spatialement cohérentes. Pour cela, nous utilisons une carte à deux étages, le premier composé de neurones à prototypes dont la réponse est une gaussienne centrée autour du prototype, et le deuxième, un étage compétitif basé sur la CNFT, permettant de créer une bulle d'activité (voir figure 3).

Nous fixons une auto-organisation, représentant une auto-organisation perceptive influencée par un contexte multimodal, dont nous générons des bulles d'activités en fonction de l'entrée grâce au mécanisme présenté ci-avant. Ces bulles d'activités sont utilisées directement comme étage compétitif d'une carte perceptive (voir figure 4) qui agit en rétroaction sur la sélectivité de l'étage perceptif. Par ce mécanisme, nous testons si notre carte perceptive peut converger vers une auto-organisation multimodale fixée, uniquement grâce à une influence descendante des bulles d'activités générées par cette auto-organisation.

Une fois que l'organisation de l'étage perceptif a convergé, nous comparons celle-ci avec celle fixée que nous souhaitons obtenir (voir figure 5). On constate une très grande similarité entre les deux auto-organisations. Parfois, quelques colonnes convergent vers un prototype assez différent de la cible mais qui reste cependant cohérent avec l'auto-organisation propre de la carte. En utilisant une rétroaction par des bulles d'activités, reflets d'une auto-organisation multimodale, il est possible d'orienter l'auto-organisation perceptive pour qu'elle soit cohérente avec le contexte multimodal.

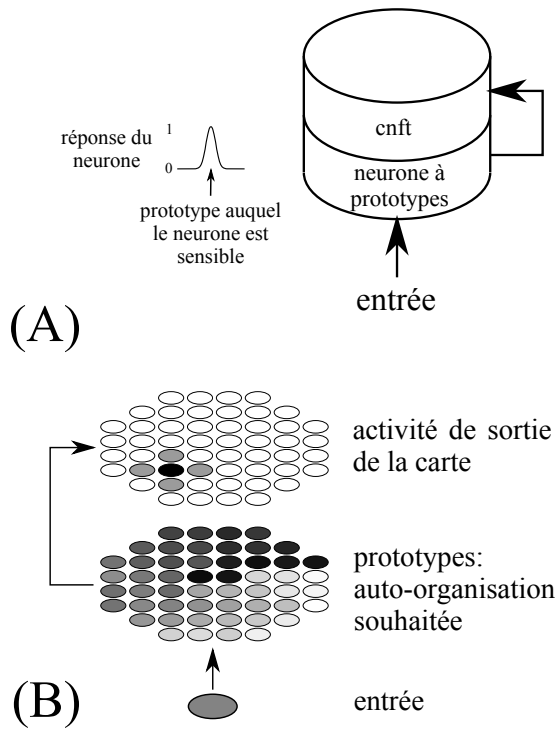


FIG. 3 – Module utilisé pour influencer sur l’auto-organisation perceptive. (A) Structure des colonnes de la carte utilisée. (B) Le module fournit, pour une entrée sensorielle, une bulle d’activité spatialement cohérente avec l’auto-organisation souhaitée.

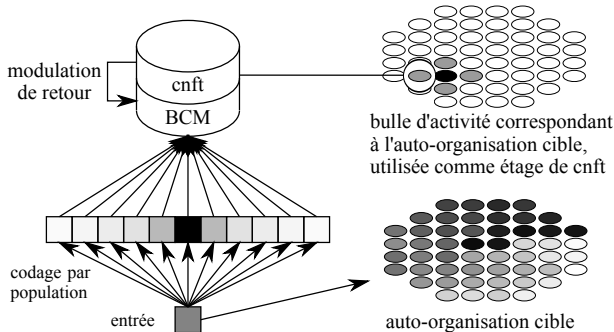


FIG. 4 – Protocole utilisé pour tester l’effet d’une contrainte multimodale descendante sur l’auto-organisation d’une carte perceptive.

## 5.2 Influence latérale multimodale

Dans notre modèle d’association de modalités, l’influence multimodale s’exprime par la connectivité latérale entre les différentes cartes. Afin de se rapprocher de ce modèle, nous avons testé comment une influence latérale multimodale pouvait influencer sur l’auto-organisation perceptive (voir figure 6).

Plus précisément, c’est l’étage cortical qui est connecté à la carte associative et qui fournit, après apprentissage, une bulle d’activité représentative du contexte multimodal. Cet étage cortical, via l’étage d’intégration cortico-perceptif, influence la position de la bulle et donc sur l’organisation de la carte (voir

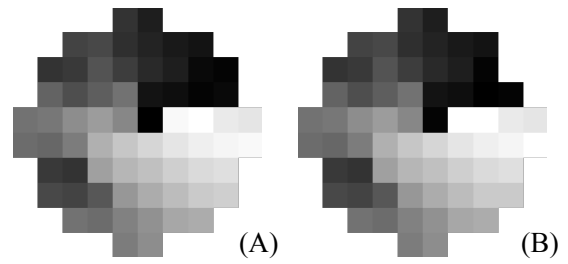


FIG. 5 – Comparatif entre l’auto-organisation multimodale (A) qui a servi à créer des bulles d’activités utilisées pour moduler l’auto-organisation de l’étage perceptif (B).

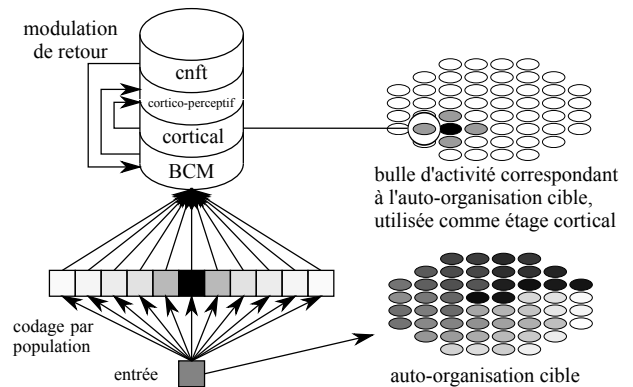


FIG. 6 – Protocole utilisé pour tester l’effet d’une contrainte multimodale latérale sur l’auto-organisation d’une carte perceptive.

section 2.2).

Pratiquement, nous avons simulé le comportement de cet étage cortical ainsi que sa connectivité après convergence en utilisant le même mécanisme que précédemment (voir section 5.1), à savoir des bulles d’activités correspondant à une auto-organisation multimodale fixée, comme activité de l’étage cortical. Ainsi, nous n’imposons plus directement la position de la bulle mais nous l’influons comme pourrait le faire une carte associative.

Nous obtenons des résultats convaincants, seules certaines colonnes peuvent coder pour une entrée relativement différente de celle fixée mais en respectant les contraintes d’auto-organisation de la carte (voir figure 7). Notre modèle de carte perceptive est donc capable de s’auto-organiser en respectant des contraintes multimodales provenant de connexions cortico corticales latérales.

## 6 Conclusion

L’objectif est d’utiliser notre modèle de carte perceptive dans une architecture multicarte d’association de modalités. Cette architecture propose de relier latéralement des cartes perceptives à une carte associative afin d’influencer les auto-organisations perceptives pour qu’elles soient cohérentes au niveau multimodal et ainsi

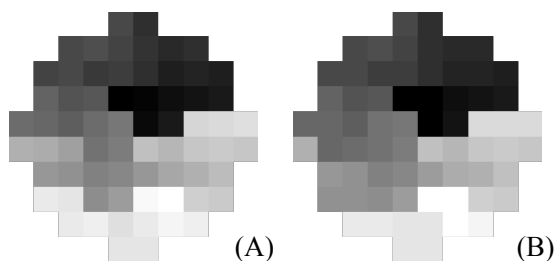


FIG. 7 – Comparatif entre l’auto-organisation cible (A) qui a servi à créer des bulles d’activités utilisées pour influencer l’auto-organisation de l’étage perceptif (B) via l’étage cortical.

permettre une généralisation pour des stimuli inconnus.

Dans ce cadre, nous avons testé l’influence d’un contexte multimodal sur l’auto-organisation de notre modèle de carte perceptive. Nous avons réussi à l’orienter vers une auto-organisation multimodale, que ce soit par une modulation descendante ou par une influence latérale.

L’influence latérale utilisée est celle d’une carte associative reliée par des poids corticaux déjà stabilisés qui n’est pas représentative d’un apprentissage conjoint multimodal. La prochaine étape consiste à tester l’influence latérale en intégrant les différentes dynamiques d’apprentissage. Cela permettra de déterminer l’influence de la dynamique d’apparition et d’évolution des contraintes multimodales sur l’auto-organisation perceptive.

## Références

- [1] Shun-Ichi Amari. Dynamics of pattern formation in lateral-inhibition type neural fields. *BiolCyb*, 27 :77–87, 1977.
- [2] M. F. Bear. Mechanism for a sliding synaptic modification threshold. *Neuron*, 15(1) :1–4, Jul 1995.
- [3] EL Bienenstock, LN Cooper, and PW Munro. Theory for the development of neuron selectivity : orientation specificity and binocular interaction in visual cortex. *J. Neurosci.*, 2(1) :32–48, 1982.
- [4] Y. Burnod. *An adaptive neural network : the cerebral cortex*. Masson ed., Paris, France, 1990.
- [5] J. J. Gibson. The theory of affordances. In R. Shaw and J. Bransford, editors, *Perceiving, acting, and knowing : Toward an ecological psychology*, pages 67–82. 1977.
- [6] T. Girod and F. Alexandre. Effects of a modulatory feedback upon the bcm learning rule. In *CNS*, 2009.
- [7] Mathieu Lefort, Yann Boniface, and Bernard Girau. Feedback modulation of BCM’s neurons in multi modal environment. In *Proceedings of the third french conference on Computational Neuroscience Neurocomp09 Neurocomp 2009*.
- [8] Mathieu Lefort, Yann Boniface, and Bernard Girau. Self-organization of neural maps using a modulated

BCM rule within a multimodal architecture. In *Proceedings of Brain Inspired Cognitive Systems 2010*, Madrid Espagne, 07 2010.

- [9] Olivier Ménard and Hervé Frezza-Buet. Model of multi-modal cortical processing : coherent learning in self-organizing modules. *Neural Netw.*, 18(5-6) :646–655, 2005.
- [10] Bernard Widrow and Marcian E. Hoff. Adaptive switching circuits. pages 123–134, 1988.